

DOI: 10.7672/sgjs2025130135

基于 Rhino 的中国传统建筑大木结构 BIM 技术应用*

孙晓阳^{1,2}, 张博玮^{1,2}, 张有志², 严光芒², 田晨^{1,2}

(1. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200122; 2. 中建八局文旅博览投资发展有限公司, 江苏 南京 210000)

[摘要] 进入信息时代, BIM 技术逐步应用于各类建筑设计、施工领域当中。传统建筑大木结构的画线、放样都需要极高强度的脑力劳动, 容易在各个环节出现误差。古建 BIM 技术的运用可以解决大多数木构件的加工模型创建、材料明细输出等问题, 并由此衍生到数控机床的加工运用中。但基于 Revit 平台难以实现复杂构件的模型创建且建模效率较低。经过研究, 可以通过 Rhino 解决复杂构件的创建, 同时借助 Rhino 的 Grasshopper 更有效率地实现古建构件模型参数化创建, 提高古建木构件加工模型的创建效率。同时实现 BIM 信息的添加、材料明细表的生成用以指导施工材料采购、下料切割, 实现数控加工模型的直接输出、构件模型组合情况的虚拟展示等。

[关键词] 传统建筑; 木结构; 建筑信息模型; 参数化; Rhino

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)13-0135-05

Application of BIM in Wooden Structures in Traditional Chinese Architecture Based on Rhino

SUN Xiaoyang^{1,2}, ZHANG Bowei^{1,2}, ZHANG Youzhi², YAN Guangmang², TIAN Chen^{1,2}

(1. China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd., Shanghai 200122, China; 2. The Cultural Tourism EXPO Investment Development Co., Ltd. of CSCEC 8th Division, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: In the information age, BIM technology has been gradually applied to various architectural design and construction fields. The drawing and lofting of traditional wooden structures require extremely high-intensity mental labor, which is prone to errors in all aspects. The application of BIM technology in ancient buildings can solve the problems of processing model creation and material detail output of most wooden components, and thus is derived into the processing and application of CNC machine tools. However, it is difficult to realize the model creation of complex components based on the Revit platform, and the modeling efficiency is low. After research, Rhino can be used to solve the creation of complex components. At the same time, Rhino's Grasshopper can be used to more efficiently realize the parametric creation of ancient building component models and improve the creation efficiency of ancient building wood component processing models. Meanwhile, the addition of BIM information and the generation of material lists can be used to guide the procurement of construction materials and cutting. The direct output of the CNC machining model and the virtual display of component model combination, etc., can be realized.

Keywords: traditional architecture; wood structure; building information modeling (BIM); parameterization; Rhino

0 引言

中国传统建筑历经数千年的演变, 充分展现东方文明的文化与智慧, 在世界建筑史上独树一帜。

进入现代, 在技术的不断创新下, 传统木结构建筑施工也在革新, 部分施工企业开始使用 BIM 技术指导木结构施工, 并开始使用数字化加工设备进行木构件加工, 取得了一定成效。这相比于传统的人工算量估料有很大的进步, 但古建筑施工部分雕刻等细节无法基于 Revit 模型实现, 此外, 依赖手动标注的方法进行构件算量工作效率较低, 没有参数化的

* 中国建筑第八工程局有限公司科技研发项目: 仿古建筑部品数字化加工生产线成套装备的研发与应用(一期)(2023-3-18)

[作者简介] 孙晓阳, 高级工程师, E-mail: 25728791@qq.com

[收稿日期] 2025-02-20

辅助导致模型创建效率较低,多数相关论文都没有彻底解决如何实现大木结构参数化并且保留具体结构细节的问题。基于 Rhino 平台的应用研究为解决上述问题提供了新的思路。

1 Rhino 平台的优势

古建筑 BIM 运用可以基于 Revit 实现,但有一个重要问题是古建筑构件有时候需要做一些特殊的复杂曲面以及雕刻处理,比如清代料拱的昂头和蚂蚱头、三福云等构件上的雕刻元素。如果不能在模型阶段做出,则后续就不能使用模型指导构件加工,还要进行再次处理,尽管使用 RhinoInsideRevit 可以接收 Rhino 模型传入 Revit,但由于底层建模原理的不同,Nurbs 曲面在导入 Revit 后经常会发生错误,特别是对于一些运算复杂的形体,有破面的模型是不可用作构件加工使用的。此外,导入的模型不可在 Revit 内部进行布尔加减的运算,在需要修改的时候很不方便。

基于 Rhino 使用 Nurbs 建模的方式可以解决上述问题,并且能够直接导出加工用的 STEP 格式模型。并且不需要借助 Revit,通过定义块以及添加自定义参数的方式,同样可以实现模型的创建及相关信息的统计(见图 1)。

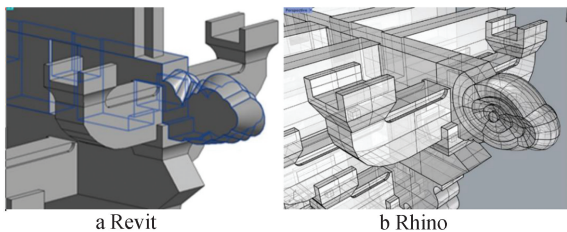


图 1 Revit 和 Rhino 在古建筑创建中的精细程度对比
Fig. 1 Comparison of fine precision between Revit and Rhino in the creation of ancient architecture

如图 1 所示,斗拱的麻叶云头在 Rhino 中可以利用其建模功能作出其雕刻细节。如果使用数控机床去加工这类构件,前者在 Revit 中绘制的模型不可被用来加工雕刻细节,需要补充加工数据处理,而后者就可以直接配合一体化机床选择合适的刀具进行加工,不需额外处理获取补充数据,在模型展示上精细程度也更高。

同时,借助 Rhino 的可视化编程工具 GrassHopper,能够实现多数构件的参数化快速创建。借助最小包围盒算法能够准确求出构件的毛坯料体积,自动导入相关构件的参数列表中,从而自动生成古建木结构的下料料单,方便施工使用。

2 大木结构的参数化

古建结构在时间维度、建筑结构、空间维度上

的变化是多种多样的。在古建施工 BIM 运用中,只有将所有构件的榫卯结构以及相关信息全部载入模型之中,才能为数字化、智能化加工提供准确信息。但是要将木结构所有构件的榫卯结构绘出,就必须有丰富的结构深化经验,并且要时刻考虑构件的安装顺序,构件的榫卯结构经常要为了适应结构和安装的变化而灵活调整。

此外,古建的构件类别繁多,一幢仿古的纯木结构殿堂级建筑,构件类型经常能达到 300 种以上,构件之间的榫卯结构会互相影响。因此所有的构件类别,最重要的是在输入端设计影响构造特点的参数,而在输出端将可能影响别的构件参数输出。这样可以兼顾提升自动化程度的同时尽量适应古建模型的复杂变化。工作应逐步展开,去适配不同时期、不同地域流派的各式建筑风格。

以柱子为例,输入端参数可以是柱子的放置位置、高度、是否有侧脚、卷杀、是否有升起及升起高度、柱子直径、收分尺寸、柱头是否放置平板枋及平板枋高度等,然后将穿插枋位置、柱头中心点等关键信息输出。按照这样的方式就可以把一个特别复杂的问题分解成为较为简单的多个问题,如图 2 所示。

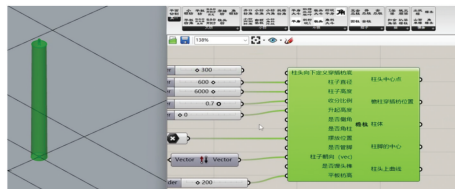


图 2 圆柱的参数化

Fig. 2 Parameterization of circular column

如图 3 所示,针对不同的构件,都设置对应的输入参数和输出参数,而后进行打包,进行模型的快速创建。

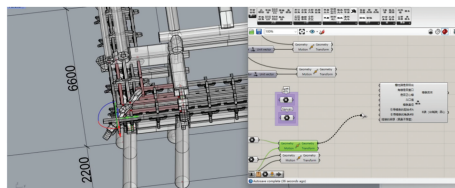


图 3 角科小枋的参数化

Fig. 3 Parameterization of Jiaoke Xiaofang

以图 4 中的四角亭子为例,为了适应古建筑的复杂变化,必须依赖建筑的搭设规律,首先建筑的 4 根柱子 A1~A4 的落脚点是设计给定的,可以依据这 4 根柱子的位置点结合柱子的参数化工具来生成 4 根柱子。柱子生成后,同时就算出了 B1~B4 4 个柱

顶的点,也就是4朵角科斗拱的放置点,同时通过这4个点的关系可以找到平身科斗拱的放置点,通过B1~B4的位置可求出C1~C4斗拱上架檩条/檩垫板的位置。在生成檩条后即可找檐檩中间D1~D4点作为抹角梁的定位点。抹角梁的中点又可定位金檩和金檩垫板E1~E4。金檩定位点和檐檩定位点可用作角梁的定位。E点经过举架计算得到F点。过程当中,构件之间的榫卯可能会产生造型的互相影响,因此每层构件造型均可作为影响相关层造型的参数输入。以此类推从而模拟建筑构建的过程来实现整个建筑的数字化生成。

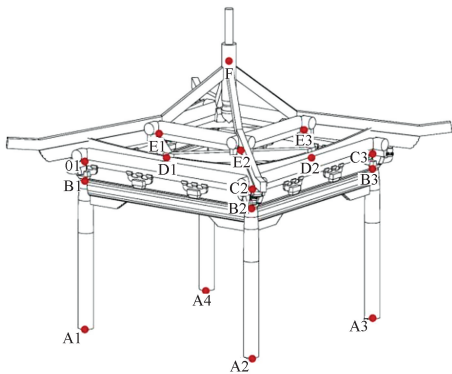


图4 亭子的参数化

Fig. 4 Parameterization of a pavilion

这样具体构件的算法就可以剥离出来,比如柱子或檩条,同样的算法可用在别的建筑上面。有了各种各样的参数化族库,就可以按照设计的意图去搭设想要生成的建筑,从而适配古建的不同变化,如图5所示。

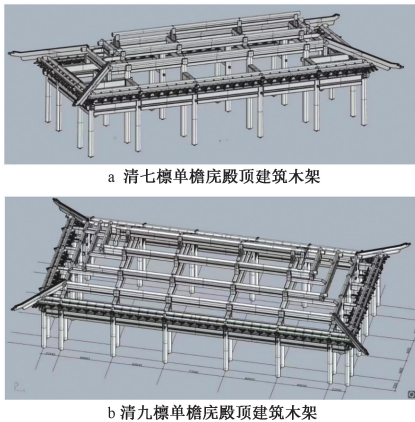


图5 完全使用数字化方法生成的建筑

Fig. 5 Buildings generated entirely using digital methods

木构架生成思路如图6所示,图5中生成的两种不同的庑殿构架验证了本思路的可行性。

由于古建构件的特征较为繁多,因此无法对所有构件如何实现参数化进行详细描述,一些比较常

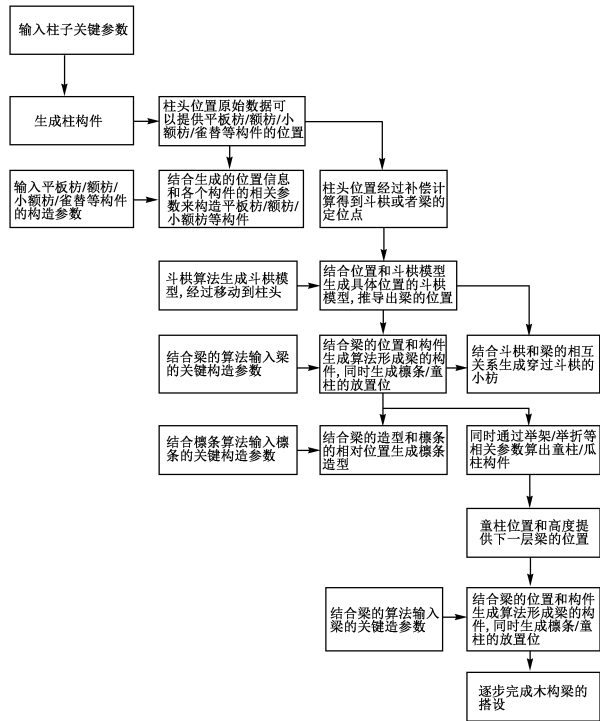


图6 该木结构建筑的参数化思路

Fig. 6 Parameterization approach for the wooden structure building

用的思路如下。

1) 常用的特征构件、建模难度较大的构件可以以构件元素的形式整体存储在数据节点中,需要的时候直接调用即可,比如梁头的霸王拳曲线、斗拱组件如散斗、三才升、交互斗、槽升子、三福云、麻叶云、昂头等,如果全部用算法生成,则计算量大且非常消耗性能。这些构件的大小多数都跟斗口值有关,所以可以添加斗口值参数对原始模型进行比例缩放得到想要的模型。

2) 由于古建取材自木材,而木材多数都是线性生长的,决定了古建大部分构件其实都是沿着某一直线对截面进行几何放样然后进行修正的结果。都需要与其关联的构件输出构件的2个关键定位点,从而定义其放样轨迹。

3) 构件的榫卯尽量在节点内部完成,部分榫卯的计算可以通过与别的构件的布尔运算取得。特殊情况不适用自动化的情况,则应用 Rhino 自身的建模功能解决。

3 构件的 BIM 信息添加和统计

3.1 图块应用

在 Revit 中可以将构件包裹在族文件中最后根据族文件的数量给构件添加信息统计数量,但是 Rhino 中没有族这样的概念。但可以利用 Rhino 的“Block”概念实现上述功能。当在 Rhino 中创建好 1 个 Block

时,每复制 Block,其实得到的都是该图块的实例文件,这样对图块引例及内部的模型信息进行修改的时候,所有同类都可得到同样的修改,也就等同于同类型构件在修改的时候所有实体都会得到修改。

3.2 信息添加

添加图块文件的时候,可以将信息添加在 Block 所包裹的真实几何体之上,添加键值和相应的参数(见图 7)。针对古建加工,最主要的构件参数其实就是构件毛坯料的下料体积,根据加工经验来看,除了建筑的柱子、檩条、椽子等构件的主要参数为长和直径(圆柱体),其余构件的毛坯料都为长方体,在下料阶段予以区别对待。

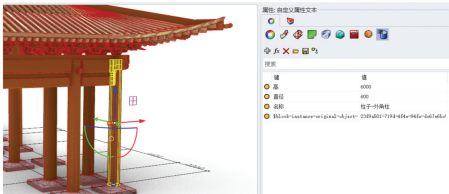


图 7 Rhino 图块构件的信息添加

Fig. 7 Adding information to Rhino block components

构件的毛坯料尺寸可人工在模型上面用标注法测得,但是这样做效率较低。可以通过自动求取构件最小包围盒算法取得长方体毛坯料类构件的最小下料尺寸。不过求取最小包围盒的算法结果可能存在一定的误差。而且长方体木构件大多情况下加工时还要考虑木材的顺纹加工,木构件不允许出现横纹抗拉的情况,而最小包围盒的计算机计算结果不一定刚好匹配构件的顺纹加工要求。

如图 8 所示,因为构件毛坯料下料长边方向都是顺着木材纤维生长方向的,而下料方式 A 更符合古建构件的受力要求,如果按照方式 B 下料,该前昂后带菊花头构件可能在构件受弯的时候发生裂隙甚至破坏。

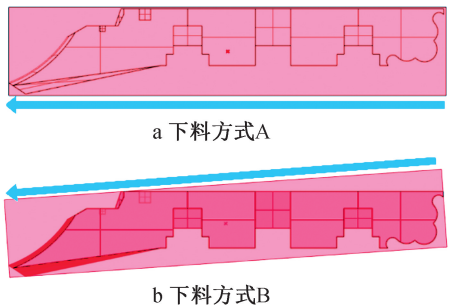


图 8 不同下料方式对比

Fig. 8 Comparison of different blanking method

因此,可以指定平行于木材纹理方向的构件表面为平面进行包围盒计算,以该平面为基础生成包

围盒为合理的包围盒算法,如图 9 所示。

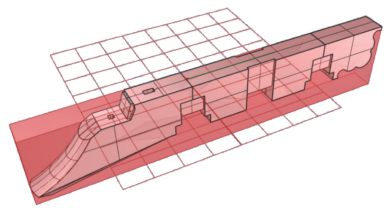


图 9 使用顺纹方向构件表面为平面生成合理包围盒
Fig. 9 Generate a reasonable bounding box using the surface of the component in the longitudinal direction as a plane

此外,类似这种构件在下料阶段需要考虑节约原材料,采用如图 10 所示的下料方式对材料利用更为合理,这种数据需要在最后的明细表中进行特殊处理。

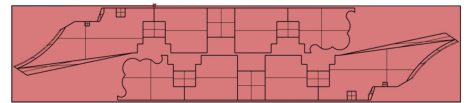


图 10 特殊数据的处理

Fig. 10 Procession of special data

想要实现批量自动添加构件信息,就需要对这两种构件自动分类。经过研究,最简便直接的方式是在构件命名阶段,将圆形构件命名时候添加关键词,在设置信息阶段对名称分析,如果能够提取到关键词,则按相应规定进行标记。

3.3 明细表统计

可以用 GrassHopper 获取所有的 Block 实例,并提取实例数量和相关参数,处理好的数据使用 Excel 节点输出,如图 11 所示。

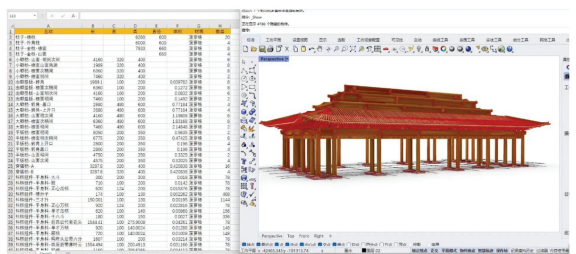


图 11 使用 Grasshopper 提取的所有构件的相关信息
Fig. 11 Relevant information of all components extracted using Grasshopper

通过木结构明细表的应用,可以在材料选购、加工阶段有明确的衡量尺度。在原材料挑选的时候有了明确的尺寸,可以进行合理规划。在加工阶段有了明确的数量和尺寸要求,在工程量预决算当中也有明确的模型依据。

建立好的模型可以使用虚幻引擎进行交互式

展示(见图 12),完成后的成果可以打包至手机上直接展示,从而指导施工过程当中的构件安装。



图 12 在 UE 引擎中进行模型交互展示

Fig. 12 Model interaction display in UE engine

4 结语

通过 Rhino 的应用,可以解决一些 Revit 无法解决的问题,并且借助 Grasshopper 的深度应用,能不断扩充古建参数化族库,提高古建设计、施工阶段的模型创建效率。提升古建加工制造的自动化、智能化水平。

参考文献:

- [1] 燕海南,杨艳,曹雅男,等. Grasshopper 参数化技术从基础建模到数字设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2022.
YAN H N, YANG Y, CAO Y N, et al. Grasshopper parameterization technology[M]. Wuhan:Huazhong University of Science and Technology Press,2022.
- [2] 何政,来潇. 参数化结构设计基本原理、方法及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
HE Z, LAI X. Parametric structural design: Theory, approach and applications [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [3] 程罡. 自在之境:Grasshopper 参数化深度建模[M]. 北京:清华大学出版社,2021.
CHENG G. Self-contained land: Grasshopper parametric depth modeling [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2021.
- [4] 李永革,郑晓阳. 中国明清建筑木作营造诠释[M]. 北京:科学出版社,2018.
LI Y G, ZHENG X Y. Interpretation of China Ming and Qing dynasties architectural woodwork creation [M]. Beijing: Science Press, 2018.

- [5] 孙晓阳,张润东,严光芒,等. 基于多源数据的古建筑数字化建模技术研究与应用[J]. 施工技术(中英文),2023,52(16):138-143.
SUN X Y, ZHANG R D, YAN G M, et al. Application and research on digital modeling technology of ancient architecture based on multi-source data[J]. Construction technology, 2023, 52(16):138-143.
- [6] 王茹,张祥,韩婷婷. 基于 BIM 的古建筑构件信息的标准化及量化提取研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2014,6(1):25-28.
WANG R, ZHANG X, HAN T T. Research on the standardization and quantification extraction of ancient building component information based on BIM[J]. Journal of information technology in civil engineering and architecture, 2014, 6(1):25-28.
- [7] 王凯. 基于 BIM 的大木作模型参数化生成方法与应用探索[D]. 北京:北京交通大学,2019.
WANG K. Parametric generation method for Chinese ancient structural carpentry model based on BIM [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [8] 杨晓军,范广顺,王涛,等. BIM 技术在古建筑保护中的应用研究[J]. 软件,2020,41(3):254-257.
YANG X J, FAN G S, WANG T, et al. Application research of BIM technology in ancient architecture protection[J]. Computer engineering & software, 2020, 41(3):254-257.
- [9] 刘念成. 基于参数化建模的中国传统建筑大木作研究——以宋官式建筑转角为例[D]. 南京:东南大学,2021.
LIU N C. A study on structural carpentry of Chinese traditional architecture based on parametric modeling [D]. Nanjing: Southeast University, 2021.
- [10] 何志鹏. 上海大歌剧院建筑造型与参数化设计[J]. 城市建筑空间,2024,31(11):83-86.
HE Z P. Parametric design in architectural form of Shanghai grand opera house[J]. Urban architecture space, 2024, 31(11):83-86.
- [11] 刘人恺. 参数化技术影响下我国建筑设计方法发展趋势探析[J]. 城市建筑空间,2024,31(11):87-89.
LIU R K. Development trend of architectural design method in China under the influence of parameterization technology [J]. Urban architecture space, 2024, 31(11):87-89.

(上接第 134 页)

- [4] 邓文涛. 复杂地层地铁超深基坑地连墙成槽施工技术[J]. 铁道建筑技术,2020(9):138-142.
DENG W T. Construction technology of the underground connecting wall trenching of the super deep foundation pit in complex stratum[J]. Railway construction technology, 2020(9):138-142.
- [5] 杨正勇,孙建芬,安旭. 地下连续墙接头施工技术[J]. 水利建设与管理,2012(5):39-40.

- YANG Z Y, SUN J F, AN X. Construction technology of underground continuous wall joint [J]. Water resources development & management, 2012(5):39-40.
- [6] 陈学锋,云广珉. 地下连续墙组合式止水结构施工关键技术研究[J]. 施工技术(中英文),2023,52(11):94-97.
CHEN X F, YUN G K. Research on key technology for construction of combined water-stop structure of a diaphragm wall [J]. Construction technology, 2023, 52(11):94-97.